

鉄鋼材料の局部延性向上因子に関する研究

山田, 直矢

<https://hdl.handle.net/2324/1398365>

出版情報 : 九州大学, 2013, 博士 (工学), 課程博士
バージョン :
権利関係 : やむを得ない事由により本文ファイル非公開 (4)

氏名・(本籍・国籍)	やま だ なお や 山 田 直 矢 (福岡県)
学位の種類	博士 (工学)
学位記番号	工博甲第2278号
学位授与の日付	平成25年9月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学府 物質プロセス工学専攻
学位論文題目	鉄鋼材料の局部延性向上因子に関する研究
論文調査委員	(主 査) 教 授 古 君 修 (副 査) 教 授 東 田 賢 二 教 授 中 島 邦 彦 島根大学 准教授 森 戸 茂 一

論 文 内 容 の 要 旨

近年、社会基盤材料である鉄鋼に対して、強度と延性の両立が強く望まれている。一般に、強度の増加とともに延性は低下するため、その両立は困難であったが、新たな生産プロセスを基盤とした組織制御の研究が進み、多くの高強度-高延性材料が開発され、現在、高強度鉄鋼材料の適用範囲が飛躍的に広がっている。しかし、これらの高強度-高延性材料の主な研究対象は、材料がネッキングする前の均一変形であり、転位論を基礎として進められてきた。

一方、鉄鋼材料の主要用途である自動車部品には、成形性・安全性の観点から、引張強さ600MPaを越える高強度鋼を中心に、従来延性として求められていた均一変形領域における伸びだけではなく、ネッキング開始以後の局部変形域の伸びすなわち局部延性向上まで求められるようになってきた。さらに、ラインパイプ輸送用鋼管素材にも、不安定延性破壊抑制のため、局部変形域の伸びの向上が期待されている。局部変形はネッキングが開始し、破断に至る間に生じる現象であるが、この機構は均一変形とはまったく異なる。局部延性は、ボイドの発生・成長・連結過程で進行するため、それぞれの段階における支配因子の解明が重要である。しかし、破断に至るまでの機構は十分に明らかにされていない。この分野では、ダメージメカニクスのシミュレーション手法を基に、ポラス材料の降伏関数であるGurson-Tvergaardの式などを用い、ボイド密度を境界条件とした有限要素法によるマクロスコピックな研究が主体である。しかし、金属組織を主体としたミクロスコピック的観点からの研究はあまり進んでいない。ナノオーダーボイドの観察手法も確立されておらず、また、破断事故の原因解明などに用いられるフラクトグラフィ（破面観察）も、局部延性に優れた材料設計における有用な指標であるにもかかわらず、破面観察および破面形状の定量的解析に基づいた研究も少ない。

本論文は、ナノオーダーボイド観察および破面の定量評価の新たな手法を確立し、これらの手法を用いて、16%Crフェライト単相鋼およびフェライト-オーステナイト系2相鋼における析出物間隔が局部延性に及ぼす影響を明らかにしたものであり、6章から構成されている。

第1章では、鉄鋼材料の局部延性の重要性、および局部延性向上に関する過去の研究知見と問題点を整理し、局部延性向上への取り組みを目的とする研究方針を述べた。

第2章では、延性破面形状を模して金型表面へ付与した表面テクスチャを対象に、フーリエ関数を用いたラインプロファイルの定量評価手法を確立した。

第3章では、局部延性の研究に際して必要な、ナノオーダーボイドの観察手法を確立した。凹凸成分に対して鋭敏な高コントラスト撮影が可能であるFE-SEM（電解放出型走査型電子顕微鏡）のAsB（Angle Selective Backscattered）像を二値化処理することで、従来 $1.0\mu\text{m}$ とされていたボイド検出限界を、 $0.1\mu\text{m}$ に拡大出来る観察手法を確立した。また、実際に0.2%マルテンサイト鋼の引張試験片の横断面に生じるナノオーダーボイド観察を行い、その発生起点と組織の対応の解明に本手法が有効であることを実証した。

第4章では、16Crフェライト単相鋼を用いて $5\mu\text{m}$ オーダー間隔で析出しているCr析出粒子の間隔が引張試験で求めた局部延性へ与える影響を調べた。Cr析出粒子間隔が広い材料ほど局部延性は向上すること、Cr析出物間隔が広がるほど破面のディンプル径が大きかつ浅くなること、さらに、このディンプル形状の相違がボイドの連結挙動に起因することを明らかにした。

第5章では、フェライト-オーステナイト2相鋼を用いて、 $20\mu\text{m}$ オーダー間隔で析出しているAl析出粒子の間隔が引張試験および計装化シャルピー試験で求めた局部延性に及ぼす影響を調べた。引張試験で求めた局部延性は、Al析出粒子間隔が変化しても一定であったが、一方、計装化シャルピー試験で求めた局部延性を表わす指標と考えられるき裂伝播エネルギーは、Al析出粒子間隔が大きくなるほど増加した。両試験で求めた局部延性に対するAl析出粒子間隔依存性の相違は、それぞれの試験で塑性変形プロセスが異なることに伴うボイド連結挙動の差に起因するとの結論を得た。

第6章では、本研究の総括を行った。

論文審査の結果の要旨

本研究は、鉄鋼材料の局部延性に及ぼす金属組織学的影響の解明を目的とし、ナノオーダーボイド観察および延性破面の定量評価の新たな手法の確立により、詳細なボイド形成過程の解析を可能とし、この手法を用いて16%Crフェライト鋼ならびにフェライト-オーステナイト2相鋼を対象に、析出粒子間隔が延性破壊挙動に及ぼす影響を解明し、鉄鋼材料の局部延性向上に繋がる重要な指針を示したもので、物質プロセス工学上寄与するところが大きい。よって本論文は博士（工学）の学位論文に値すると認める。